

# PENENTUAN POTENSI RISIKO TENORM PADA INDUSTRI NON NUKLIR

**Bunawas dan Syarbaini**

Puslitbang Keselamatan Radiasi dan Biomedika Nuklir – BATAN

- Jalan Cinere Pasar Jumat, Jakarta – 12440
- PO Box 7043 JKSKL, Jakarta – 12070

## PENDAHULUAN

NORM (*Naturally Occurring Radioactive Material*) merupakan bahan radioaktif yang sudah ada di alam sebagai bagian dari kehidupan manusia. NORM ada di mana-mana, karena semua bahan di udara, air, tanah, tanaman bahkan tubuh kita mengandung bahan radioaktif alam. Sedangkan TENORM (*Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material*) dapat diartikan sebagai bahan radioaktif alam yang terkonsentrasi atau naik kandungannya yang merupakan by product dari kegiatan industri non nuklir yang menggunakan bahan baku dari (dalam) kulit bumi. TENORM sering juga disebut LSA (*Low Specific Activity*).

Kegiatan beberapa industri non nuklir dapat memobilisasi radionuklida alam yang terkandung di dalam batuan-batuan yang terdapat di dalam bumi. Radionuklida alam tersebut akan terkonsentrasi dan akhirnya membentuk material radioaktif. TENORM dalam industri minyak dan gas pertama kali terdeteksi pada tahun 1904 di Kanada, kemudian pada awal tahun 1980 dilakukan pengkajian aspek radiologi terhadap TENORM pada lapangan minyak di laut utara dan dilaporkan bahwa TENORM berpotensi memberikan dampak radiologi terhadap pekerja dan lingkungan, apabila tidak dikelola dengan benar.

## ASAL DAN TERBENTUKNYA NORM

TENORM terbentuk sebagai akibat dari terkonsentrasinya radionuklida alam pada waktu

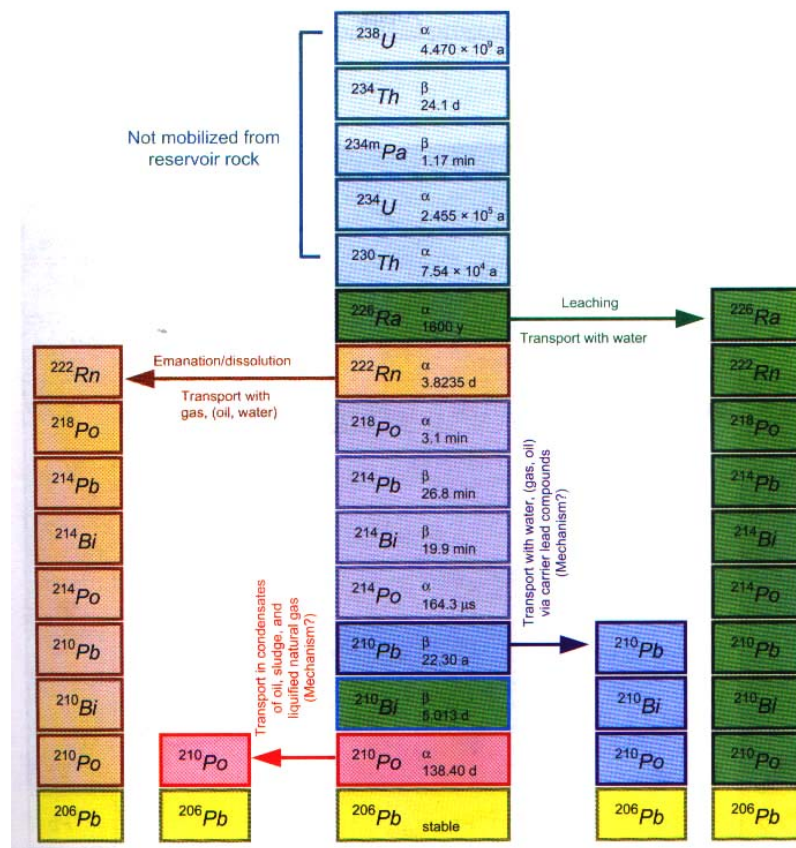
proses industri berlangsung. TENORM yang terbentuk dapat berupa *slag*, *scale* (kerak air) dan *sludge* (lumpur). Radionuklida dalam TENORM berasal dari peluruhan radionuklida primordial dari peluruhan  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  dan  $^{40}\text{K}$ . Radionuklida alam ini banyak ditemukan dalam batuan dan mineral pada kulit bumi. Peluruhan radioaktif  $^{238}\text{U}$  dan  $^{232}\text{Th}$  dengan mode peluruhan dan energi yang dipancarkan beserta jenis radiasinya diperlihatkan pada Gambar 1 dan 2.

Sektor industri non nuklir yang berpotensi sebagai sumber TENORM adalah:

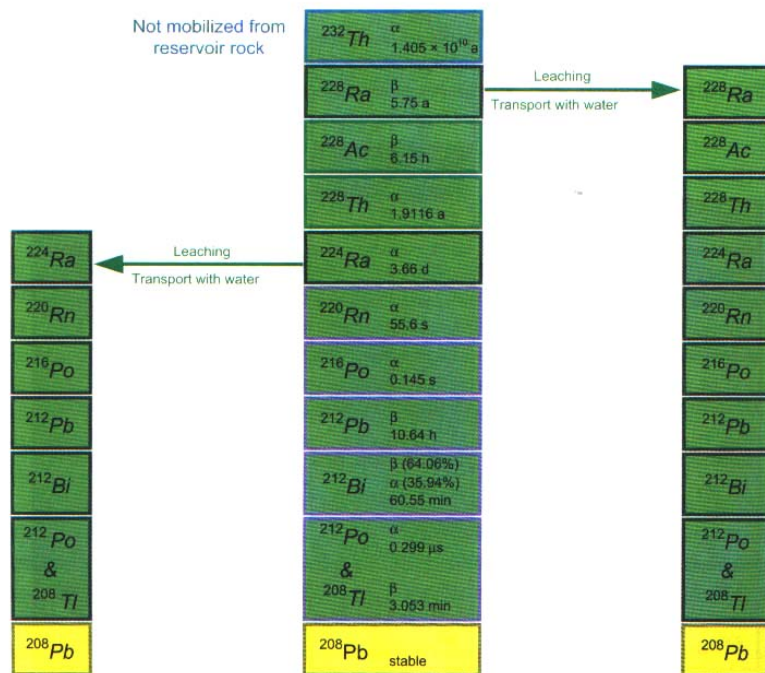
- Minyak dan Gas Bumi
- Pupuk Fosfat dan potasium
- Metal (Besi, tembaga, Aluminium, Timah dan lain-lain)
- PLTU (Batu Bara dan Panas Bumi)
- Pulp dan Kertas
- Air Minum Kemasan dari sumber air alam

Secara umum, radionuklida alam yang dominan ditemukan di dalam NORM adalah  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{228}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{220}\text{Rn}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  dan  $^{210}\text{Po}$ . Radiasi yang dipancarkan NORM merupakan campuran partikel alpha, beta dan photon gamma. Radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) dan thoron ( $^{220}\text{Rn}$ ) adalah pemancar alpha murni dan berwujud gas. Berdasarkan sifat dan wujud dari masing-masing radionuklida ini maka metode penentuan setiap radionuklida tersebut berbeda.

Pembentukan NORM diawali dengan terlarutnya isotop Radium batu-batuan seperti  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{224}\text{Ra}$  di dalam air yang terdapat



Gambar 1. Deret Peluruhan  $^{238}\text{U}$



Gambar 2. Deret peluruhan  $^{232}\text{Th}$

bersama minyak dan gas. Isotop  $^{226}\text{Ra}$  berasal dari deret peluruhan  $^{238}\text{U}$  dan  $^{228}\text{Ra}$  beserta  $^{224}\text{Ra}$  berasal dari deret peluruhan  $^{232}\text{Th}$ . Radium mengendap bersama barium kemudian mengganti beberapa atom barium ini dalam struktur kristal barium sulfat. Karena  $^{228}\text{Ra}$  meluruh menjadi  $^{228}\text{Th}$  dan  $^{226}\text{Ra}$  meluruh menjadi  $^{210}\text{Pb}$  melalui radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) maka di dalam *scale* ditemukan  $^{228}\text{Th}$  dan  $^{210}\text{Pb}$  tersebut. Di dalam gas alam banyak ditemukan gas radon yang merupakan anak luruh dari  $^{226}\text{Ra}$ .

Pengendapan dalam bentuk sulfat maupun karbonat pada bagian dalam dari *tubular* (T), *weelheads* (W), *Valve* (V), pompa (P), *separator* (S), *water treatment vessel* (H), *gas treatment* (G) dan tangki oli (O). Pengendapan dalam fasilitas produksi gas alam dalam bentuk lapisan tipis endapan  $^{210}\text{Pb}$  berupa film.

Pengendapan kerak dapat berlangsung lama orde tahunan yang pada gilirannya dapat menurunkan bahkan menghentikan aliran fluida dan mengakibatkan sistem operasi yang tidak aman. Beberapa peneliti atau operator mencoba mencegah proses pengendapan kerak air ini dengan bahan kimia anhibitor dalam sistem injeksi air yang mengandung garam, maupun sumur produksi.

Tabel 1. Radionuklida dominan berdasarkan jenis industri

Industri sumber NORM	Radionuklida dominan
Pupuk fosfat	$^{238}\text{U}$ , $^{234}\text{U}$ , $^{230}\text{Th}$ , $^{226}\text{Ra}$ , $^{210}\text{Pb}$ , $^{210}\text{Po}$
Pembangkit Listrik Tenaga Batubara	$^{238}\text{U}$ , $^{234}\text{U}$ , $^{230}\text{Th}$ , $^{226}\text{Ra}$ , $^{210}\text{Pb}$ , $^{210}\text{Po}$ , $^{232}\text{Th}$ , $^{228}\text{Ra}$ , $^{228}\text{Th}$
Minyak dan Gas Bumi	$^{226}\text{Ra}$ , $^{210}\text{Pb}$ , $^{210}\text{Po}$ , $^{228}\text{Ra}$ , $^{228}\text{Th}$ , $^{222}\text{Rn}$
Penegelolaan Air Minum	$^{238}\text{U}$ , $^{234}\text{U}$ , $^{226}\text{Ra}$ , $^{210}\text{Pb}$ , $^{210}\text{Po}$ , $^{228}\text{Ra}$
Penambangan Metal	$^{238}\text{U}$ , $^{234}\text{U}$ , $^{230}\text{Th}$ , $^{226}\text{Ra}$ , $^{210}\text{Pb}$ , $^{210}\text{Po}$ , $^{232}\text{Th}$ , $^{228}\text{Ra}$ , $^{228}\text{Th}$
Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi	$^{226}\text{Ra}$ , $^{210}\text{Pb}$ , $^{210}\text{Po}$ , $^{222}\text{Rn}$

Tabel 2. NORM pada produksi minyak dan gas

Tipe	Radionuklida	Karakteristik	Keberadaan
Kerak Ra	$^{228}\text{Ra}$ , $^{226}\text{Ra}$ , $^{224}\text{Ra}$ dan hasil luruhannya	Endapan keras Ca, Sr, Ba Sulfat dan karbonat	- Bagian basah dari instalasi produksi - Pipa bor
Lumpur Ra	$^{228}\text{Ra}$ , $^{226}\text{Ra}$ , $^{224}\text{Ra}$ dan hasil luruhannya	Pasir, tanah liat, parafin, logam berat	- Separator - Tangki skimmer
Endapan Pb	$^{210}\text{Pb}$ dan luruhannya	Endapan Pb stabil	- Bagian basah instalasi produksi gas - Pipa bor
Film Pb	$^{210}\text{Pb}$ dan luruhannya	Lapisan tipis film	- Treatment oli dan gas transport
Film Po	$^{210}\text{Po}$	Lapisan tipis film	- Fasilitas treatment kondensat
Kondensat	$^{210}\text{Po}$	<i>unsupported</i>	- Produksi gas
Gas alam	$^{222}\text{Rn}$ , $^{210}\text{Pb}$ , $^{210}\text{Po}$	Gas mulia menempel pada permukaan	- Pemakai utama - Treatment gas & sistem transpor
Air produksi	$^{228}\text{Rn}$ , $^{226}\text{Ra}$ , $^{224}\text{Ra}$ , $^{210}\text{Pb}$	Sebagai <i>saline</i> , volume besar dalam produksi minyak	- Setiap fasilitas produksi



Gambar 3. Pengendapan NORM dalam bentuk kerak air (*scale*) di dalam pipa

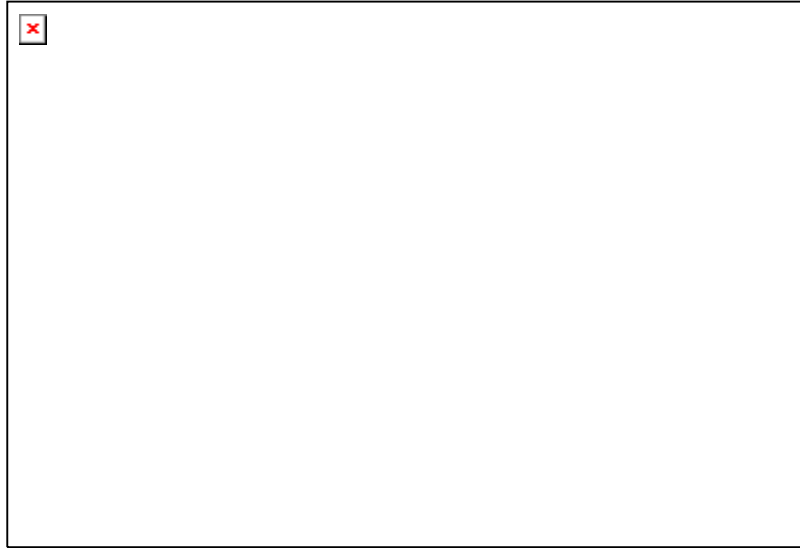
Secara umum konsentrasi NORM di lumpur lebih rendah dibandingkan di kerak air. Konsentrasi  $^{210}\text{Pb}$  relatif rendah di kerak air, namun tinggi diendapan Pb atau lumpur dengan konsentrasi mencapai 1.000.000 Bq/kg. Isotop thorium tidak termobilisasi dari reservoir, hasil luruhan  $^{228}\text{Th}$  tumbuh dari pengendapan  $^{228}\text{Ra}$  setelah pengendapan berlangsung. Hasilnya, bila kerak air mengandung  $^{228}\text{Ra}$  tumbuh lama, maka konsentrasi  $^{228}\text{Th}$  dapat 150 % lebih tinggi dibandingkan  $^{228}\text{Ra}$ .

#### **ASPEK KESELAMATAN RADIASI TENORM TERHADAP PEKERJA DAN LINGKUNGAN**

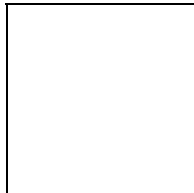
Dalam kegiatan industri, TENORM yang dihasilkan dapat mencemari kawasan kerja yang terlepas ke lingkungan. Keberadaan TENORM yang tidak diketahui dengan pasti karena tidak dilakukannya pemantauan, dapat memberikan paparan radiasi eksternal dan internal. Paparan radiasi eksternal terjadi selama proses produksi berlangsung yang berasal dari akumulasi radionuklida yang memancarkan radiasi gamma. Paparan radiasi internal terjadi bila radionuklida

masuk ke dalam tubuh pekerja dan orang lain melalui jalur pernapasan dan pencernaan, khususnya selama kegiatan perawatan, transport limbah dan peralatan produksi yang terkontaminasi, serta kegiatan pembersihan pipa dan tangki menggunakan teknik “*sand blasting*”. Paparan radiasi juga mengalami peningkatan selama proses dekomisioning fasilitas produksi dan fasilitas yang menangani limbah.

Paparan radiasi eksternal dapat berasal dari NORM yang mengendap dalam bentuk kerak air (*scale*) dan lumpur (*sludge*) dalam pipa, *vessel* dan tangki yang dapat meningkatkan laju dosis yang signifikan di dalam dan di luar komponen alat produksi. Hasil peluruhan  $^{226}\text{Ra}$  dan  $^{228}\text{Ra}$  yang berumur pendek seperti  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{212}\text{Pb}$ ,  $^{212}\text{Bi}$  dan  $^{208}\text{Th}$  yang memancarkan radiasi gamma dapat menembus dinding alat produksi dan memberikan laju dosis yang cukup signifikan bila kerak yang terakumulasi lebih dari beberapa bulan. Laju dosis bergantung kepada jumlah dan konsentrasi NORM serta perisai dari dinding pipa atau *vessel*. Laju dosis pada alat produksi berkisar antara 200-30.000  $\mu\text{R/j}$ , nilai ini 1000 kali lebih tinggi dari paparan radiasi alamiah yang berasal dari radiasi teresterial dan kosmik.



Gambar 4. Pemantauan laju paparan dengan survei meter



Gambar 5. Kegiatan pembersihan dengan teknik “sand blasting”

Paparan radiasi internal dari NORM dapat berasal dari radionuklida yang masuk tubuh melalui inhalasi (pernapasan) dan ingesi (pencernaan). Ini dapat terjadi pada saat dilakukan kegiatan membuka plant dan peralatan; penggantian pipa, katup dan filter; penanganan limbah; serta pembersihan kerak air yang menggunakan teknik “*sand blasting*” yang dapat menerbangkan partikel debu radioaktif ke udara. Masuknya radionuklida melalui pencernaan dapat terjadi pada saat makan dan minum di tempat

kerja. Paparan radiasi interna menjadi dominan apabila sarana keselamatan kerja seperti masker dan sarung tangan tidak digunakan secara benar.

Perlu diketahui bahwa bahan “*sand blasting*” seperti kerak timah (tin slag), kerak tembaga (copper slag) dan garnel mengandung radionuklida alam (NORM)  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Th}$ ,  $^{232}\text{Th}$  dan  $^{238}\text{U}$  yang cukup tinggi berkisar antara 1000 – 100.000 Bq/kg. Pembuangan kerak air (scale) dan lumpur (sludge) yang mengandung



NORM dan dari *plant* dan peralatan seperti pipa, katup, vessel dan lain-lain pada saat perawatan dan dekomisioning perlu menerapkan tindakan proteksi radiasi untuk menjaga keselamatan, manajemen limbah dan aspek lingkungan,

### **BATAS TINDAKAN TERHADAP TENORM**

Pengukuran aktivitas setiap radionuklida yang terkandung di dalam NORM perlu dilakukan untuk memastikan tingkat aktivitas radionuklida tersebut. *International Atomic Energy Agency* (IAEA) dan juga beberapa negara telah memberikan rekomendasi mengenai batasan (action level) aktivitas radionuklida NORM. Apabila aktivitas radionuklida sudah memenuhi batasan tersebut maka NORM harus dikendalikan sebagaimana halnya limbah radioaktif.

Berdasarkan rekomendasi dari *Basic Safety Standard* yang dikeluarkan oleh IAEA, batas tindakan penanganan TENORM apabila konsentrasinya  $\geq 1000 - 10.000$  Bq/kg atau mempunyai paparan radiasi gamma  $\geq 50$   $\mu$ R/jam.

Komisi Eropa pada tahun 1997 menerbitkan panduan yang lebih rinci untuk implementasi titel VII dari BSS Eropa dalam kasus keberadaan radionuklida alam (NORM) karena termasuk daerah *Grey Area* dengan rentang dosis 1 mSv/th – 6mSv/th, karena diantara praktis dan intervensi dengan istilah pita dosis. Komisi Eropa juga menerbitkan dokumen khusus yang berhubungan dengan pembatasan NORM dalam bahan bangunan dan tingkat acuan untuk tempat kerja yang memproses bahan baku alam dengan radionuklida yang meningkat. Pada Tabel 2 ditampilkan konsentrasi radionuklida alam acuan disebut "Tingkat Acuan" dari beberapa industri non-nuklir yang memberikan paparan kerja dengan dosis 1 mSv/tahun.

### **PENGELOLAAN LIMBAH TENORM**

Dalam beberapa tahun terakhir, produksi TENORM di bidang industri telah meningkat

karena pesatnya pertumbuhan industri-industri tersebut. Limbah baik padat, cair, gas ataupun partikulat yang mengandung NORM yang berpotensi memberikan dampak radiologi pada pekerja, anggota masyarakat dan lingkungan apabila terlepas ke lingkungan. NORM yang terkandung dalam komponen-komponen ini terdiri dari radionuklida alam yang mempunyai umur paro sangat panjang maka dari itu pengelolaan limbah NORM/TENORM perlu mendapat perhatian.

Pengelolaan TENORM merupakan salah satu aspek penting dalam keselamatan radiasi, bertujuan untuk membatasi paparan masyarakat dan pekerja terhadap radiasi pengion dan melindungi lingkungan dari pelepasan radioaktivitas alam atau peningkatan konsentrasi radioaktivitas alam.

Pengelolaan Limbah TENORM adalah langkah-langkah terintegrasi yang mencakup semua aspek atau simpul dari siklus peredaran limbah sejak produksi sampai penyimpanan atau pembuangan. Satu hal penting harus diingat dalam pengelolaan limbah TENORM adalah bahwa strategi pengelolaan harus mempertimbangkan tidak hanya resiko dari radiasi atau bahan radioaktif tetapi juga resiko dari non radioasi, karena kedua resiko ini dimiliki oleh TENORM sehingga dalam penetapan opsi pengelolaannya kedua resiko tersebut harus jadi bahan kajian. Sebagai contoh sludge, untuk pemilihan opsi metode pembuangan atau opsi pemrosesannya lebih mempertimbangkan aspek kontaminan non radioaktif daripada aspek radioaktifnya.

Kajian terbaru oleh Asosiasi Perminyakan Amerika (API) merekomendasikan pembuangan limbah TENORM dari industri minyak dengan teknik *Landfill* kelas I. Hal ini sesuai dengan kebijakan Departemen Lingkungan Hidup dan BAPETEN.

Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) berdasarkan undang-undang No 10 tentang ketenaganukliran menerbitkan peraturan

Tabel 3. Tingkat acuan untuk industri non nuklir [10]

No	Material/Proses	Radionuklida (Bq/gr yang memberikan dosis 1 mSv/th)				
		U-238	Th-230	Ra-226	Th-232	Th-228
1	Industri fosfat	80	20	1	10	5
2	Industri Timah	80	20	3	10	5
3	Industri Ferro-Niobium	80	20	0,1	10	3
4	Industri Zircon	40	9	1	7	4
5	Ekstraksi logam tanah jarang monasit	80	20	0,8	10	6
6	Industri katode las (W-Th <i>Welding Rods</i> )	-	350	-	300	300
7	Minyak dan gas industri - Scale - Sludge	- -	- -	60 20	100 100	60 10
8	Industri “sand blasting”	80	20	3	10	5

pemerintah (PP) No. 27 tahun 2002 tentang penanganan limbah radioaktif dalam pasal 32 ayat 1 disebutkan ”setiap orang atau badan yang melakukan penambangan bahan galian non-nuklir yang dapat menghasilkan limbah radioaktif sebagai sebagai hasil samping penambangan wajib melakukan analisis keselamatan radiasi”.

### PENENTUAN RISIKO RADIASI TENORM

Pengkajian telah dilakukan oleh BAPETEN bekerjasama dengan P3KRBin-BATAN yang sampai saat ini pada lebih dari 15 industri non-nuklir yang diduga berpotensi memberikan paparan kerja dari sumber radiasi alam. Paparan kerja dari sumber radiasi alam pada industri non nuklir di dunia pada umumnya dan khususnya di Indonesia merupakan paparan kerja yang cukup potensial diterima oleh non pekerja radiasi, oleh karena itu beberapa organisasi internasional seperti ICRP, IAEA, Komisi Eropa (EC) sepakat

untuk mengatur dan ada upaya memperkecil dampaknya terhadap pekerja melalui tindakan ”Intervensi” misalnya pembatasan radon ditempat kerja 1000 Bq/m<sup>3</sup>, konsentrasi mineral dan bijih (*Ore*) 1000 – 10.000 Bq/kg dan kenaikan paparan gamma sebesar 50 µR/jam (0,5 µSv/jam).

Risiko radiasi TENORM dapat ditentukan melalui tahapan sebagai berikut:

1. *Screening survey* untuk penentuan *Hot Spot Area*
2. Pengambilan sample TENORM dan komponen lingkungan
3. Analisis laboratorium untuk penentuan jenis dan konsentrasi radionuklida yang terkandung di dalam TENOR dan komponen lingkungan
4. Perkiraan dosis yang diterima pekerja dan masyarakat untuk penentuan risiko radiasi TENORM

Panel pemeriksaan radiasi TENORM:

- Paparan radiasi gamma total
- Analisis radionuklida dalam TENORM dan komponen lingkungan meliputi  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Th}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ , dan  $^{40}\text{K}$
- Pengukuran gas radioaktif dan luruhannya di udara meliputi radon ( $^{222}\text{Rn}$ ), thoron ( $^{220}\text{Rn}$ ), working level radon dan working level thoron.

Untuk memperoleh informasi lebih lanjut, dapat menghubungi:

Laboratorium Keselamatan Kesehatan dan Lingkungan (KKL)

Puslitbang Keselamatan Radiasi dan Biomedika Nuklir – BATAN

Jl. Cinere Pasar Jumat,

PO Box 7043 JKSKL, JAKARTA 12070

Telp: (021)751906 (hunting), 7654241

Faks : (021)7657950, 7654184

Email: lab.kkl.batan@mail.com

7. VAN DER HEIGDE, H. B., KLINJN, P. J., DUURSMA, K., EISMA, D., DE GROOT, D. J., HOGEL, P., KOSTER, H. W., and NOOYEN, J. L., Environmental Aspects of Phosphate Fertilizer Production in the Netherlands with Particular Reference in the Disposal of Phosphogypsum, *Sci. Total Environment*, 90, 203 – 225. 1990.
8. YENER, G., UYSAL, I., Low Energy Scintillation Spectrometry for Direct Determination of  $^{238}\text{U}$  and  $^{210}\text{Pb}$  in Coal and Ash Samples, *J. Appl. Radiat. Isot.*, 47 (1), 93 – 96. 1996
9. TESTA, C., DESIDERI, D., MELI, M. A., ROSELLI, C., BASSIGNAIRI, A., and FINOZZI, P. B., The Determination of Radium, Uranium and Thorium in Low Specific Activity Scales and in Water of some Oil and Gas Production Plants, *Proced. IRPA*, 8, 1286 – 1289. 1992.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. HIPKIN, J., and PAYTER, R. A., Radiation Exposures to the Workforce from Natural Occurring Radioactivity in Industrial Processes, *Radiation Protection Dosimetry*, 36, 96 – 100. 1991.
2. HEATON, B. and LAMBLEY, J., Tenorm in the Oil, Gas and Mineral Mining Industry, *J. Appl. Radiation and Isotop*, 46, 577 – 581. 1995.
3. IAEA, Radiation Protection and the Management of Radioactive Waste in the Oil and Gas Industry, *Safety Reports Series* No. 34, IAEA, Vienna, 2003.
4. Undang-undang No. 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran.
5. BAPETEN, Peraturan Pemerintah RI No. 63 Tahun 2000 tentang Keselamatan dan Kesehatan terhadap Pemanfaatan Radiasi Pencil.
6. IAEA, International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Basic Safety Series 155, IAEA, Vienna. 1996.